

Janne Alamäki

**UNIAPNEANHOITOLAITTEEN PIIRILEVYN SUUNNITTELU JA  
TOTEUTUS**

# **UNIAPNEANHOITOLAITTEEN PIIRILEVYN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

Janne Alamäki  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Hyvinvointiteknologia

---

Tekijä: Janne Alamäki

Opinnäytetyön nimi: Uniapneanhoitolaitteen piirilevyn suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja: Kari Jyrkkä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016

Sivumäärä: 28 + 2 liitettä

---

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, valmistaa, kalustaa ja testata piirilevy uniapneanhoitolaitteen uutta prototyyppiä varten. Piirilevy suunniteltiin olemassa olevan prototyypin sekä tilaajan tarpeiden mukaan. Opinnäytetyön tilaajana toimi Uniapneavyö-projekti, joka toimi opiskelijaprojektina Oulun ammattikorkeakoululla. Tavoitteena työssä oli laatia uniapneanhoitolaitteen piirilevyn vaatimusmäärittely, jonka pohjalta suunniteltiin, piirrettiin ja valmistettiin piirilevy.

Piirilevylle liitettiin mm. antureita, mikrokontrolleri, USB-latausmahdollisuus, akku ja Bluetooth-moduuli. Piirilevy suunniteltiin käyttäen hyväksi EAGLE-ohjelmistoa ja se valmistettiin Oulun ammattikorkeakoululla. Piirilevy kalustettiin vaatimusmäärittelyn mukaisilla komponenteilla, jotka tilattiin erikseen OAMK:lle. Työssä käytettiin myös tilaajalta saatuja komponentteja.

Tuloksena työstä valmistui toimiva, kalustettu piirilevy. Testaamisen ja vikojen korjaamisen jälkeen laitekokonaisuus toimi halutulla, vaatimusten mukaisella tasolla.

---

Asiasanat: uniapnea, piirilevysuunnittelu, laitesuunnittelu

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Medical engineering

---

Author: Janne Alamäki

Title of thesis: Circuit board design and manufacturing of sleep apnea treatment device

Supervisor: Kari Jyrkkä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016

Pages: 28 + 2 appendices

---

The subject of this thesis was circuit board design, installation and manufacturing for a new prototype of a sleep apnea treatment device. The circuit board design was made using a former existing prototype while also listening to the needs and instructions of the client. The client of this thesis is Sleep apnea belt project which was a student project at Oulu University of Applied Sciences. The objective of this thesis was to develop a circuit board requirement analysis which was used to design, draw out and manufacture a circuit board for a sleep apnea treatment device.

The circuit board included e.g. sensors, a microcontroller, USB-charging, a battery and a Bluetooth module. The circuit board was designed using EAGLE software in Oulu University of Applied Sciences. Components that meet the requirement analysis were used in the installation of hardware on the circuit board. The components were ordered separately for the school. The client also provided some components.

The result for the thesis was a working circuit board that met the predefined requirements. The device worked as intended and required after a series of testing and troubleshooting.

---

Keywords: medical engineering, circuit board, hardware design

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää työni tilaajaa Uniapneavyö-projektia avusta opinnäytetyön aikana. Lisäksi haluan kiittää työn sisällönohjauksesta lehtori Kari Jyrkkää sekä kielentarkastuksesta lehtori Tuula Hopeavuorta. Suuri kiitos kuuluu myös projektisuunnittelija Henry Hinkulalle piirilevyn valmistamisesta sekä ohjauksesta.

Oulussa 28.01.2016.

Janne Alamäki

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 UNIAPNEA	8
2.1 Uniapnea sairautena	8
2.2 Uniapneanhoitolaite	8
3 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET	10
3.1 Opinnäytetyön tavoitteet	10
3.2 Vaatimusmäärittely	10
4 LAITESUUNNITTELU	12
4.1 Piirilevysuunnittelu	12
4.2 Keskeiset kytkennät, komponentit ja ohjelmistot	13
5 PIIRILEVYN VALMISTUS	16
5.1 Komponenttien valinta	16
5.1.1 Anturi ja sen kytkennät	16
5.1.2 Mikrokontrolleri	16
5.1.3 Bluetooth-moduuli	17
5.1.4 Akku ja lataus	18
5.2 Piirilevyn valmistus	19
5.3 Piirilevyn kalustaminen	20
6 TESTAUS	21
6.1 Mikrokontrollerin ohjelmointi	21
6.2 Laitteen testaus	22
7 YHTEENVETO	24
LÄHTEET	27
LIITTEET	
Liite 1. EAGLE-piirustukset	
Liite 2. Koodi mikrokontrollerille	

# 1 JOHDANTO

Työn tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikössä toiminut Uniapneavyö-projekti. Projekti aloitettiin Tuotteen suunnittelu ja toteutus -opintojaksolla, jonka jälkeen se on toiminut itsenäisesti. Projektiryhmään kuuluu kaksi Hyvinvointiteknologian koulutusohjelman opiskelijaa, Janne Alamäki ja Toni Männistö sekä kaksi hyvinvointiteknologian insinööriä Lassi Rita ja Aki Nyyssölä. Projekti sekä sen jäsenet toimivat tämän opinnäytetyön tilaajana. Projektin tarkoituksena on ollut suunnitella ja valmistaa uniapneanhoitolaite, jonka pohjalta aloitetaan liiketoiminta. Opinnäytetyön aiheena oli uniapneanhoitolaitteen piirilevyn vaatimusmäärittelyn luominen, piirilevyn suunnittelu ja toteutus sekä piirilevyn kalustus ja testaus. Työssä ei suunnitella laitteen ulkoasua, koteloa, ohjelmistoa tai mekaniikkaa.

## 2 UNIAPNEA

### 2.1 Uniapnea sairautena

Uniapnea on sairaus, joka ilmenee nukkuessa tapahtuvina hengityskatkoksina. 10 prosenttia kuorsaavista ihmisistä kärsii obstruktiivisesta eli hengitystiet kokonaan tukkivasta uniapneasta. Hengityskatkokset aiheutuvat hengitysteiden ahtaudesta, jolloin sisäänhengityksen alipaine tukkii hengitystiet hetkellisesti. Katkoksen kestot ovat yleensä kymmenestä sekunnista yli puoleen minuuttiin. Hengityskatkoksiin liittyy veren happikyllästeisyyden pieneneminen, ja ne päättyvät normaalisti lyhyisiin tiedostamattomiin unesta havahtumisiin. Hengityskatkokset unen aikana haittaavat unen laatua sekä aiheuttavat päivällä väsymystä ja nukahtelua. (1, s. 359–361.)

Uniapnean terveyshaittoja ovat muistihäiriöt, ärtyneisyys ja impotenssi. Myös yöllinen virtsaamisen tarve, rytmihäiriöt ja hikoilu ovat yleisiä oireita. (2.) Uniapneaa sairastavien verisuonisairausriski on korkea, ja heillä on myös riski altistua työtapaturmille ja auto-onnettomuuksille. Uniapnea aiheuttaa myös sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja ennenaikaisia kuolemia. Uniapnean yleisin aiheuttaja on ylipaino. (3.)

### 2.2 Uniapneahoitolaite

Uniapneavyö-projekti on suunnitellut ja rakentanut ensimmäisen prototyypin uniapneahoitolaitteesta. Laite on elektroninen uniapneavyö. Vyö mittaa käyttäjän hengitystaajuutta ja herättää käyttäjän avulla uniapneakohtauksen sattuessa.

**POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (laitteen toimintaperiaate, kuva)**

Uniapneahoitolaitteen ensimmäinen prototyyppi on langallinen, ja sille on tehty ohjelmisto tietokoneelle (kuva 2). Testausvaiheessa on käytetty kannettavaa tietokonetta. Liitäntä tietokoneeseen tapahtuu USB-portin kautta. Laite on rakennettu Arduino Uno -kehitysalustan päälle. Arduino Uno sisältää



ATmega328-mikrokontrollerin, joka sisältää ohjelmiston uniapneakohtauksen tunnistamiseen. Arduino on sijoitettu koteloon laitteen ulkopuolelle. Tietokoneelle on luotu ohjelmisto, joka tallentaa ja esittää laitteesta saadun datan graafisesti.

**POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuva)**

## 3 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET

### 3.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoite on uniapneanhoitolaitteen uuden prototyypin piirilevyn suunnitteleminen, kalustus ja testaus. Uniapnea-projektin valmistama uniapneanhoitolaitteen ensimmäinen prototyyppi oli opinnäytetyön aikana testattavana. Ensimmäinen prototyyppi on hyvin alkeellinen versio uniapneanhoitolaitteesta ja siksi syntyi tarve seuraavalle prototyyppiversiolle, jonka täytyy olla kehittyneempi ja lähempänä lopullista tuotetta. Seuraava prototyyppi vaatii ensimmäistä prototyyppiä kehittyneemmän piirilevyn, jonka suunnittelu, laatiminen ja testaus valikoituivat tämän opinnäytetyön aiheeksi. Luettelossa on esitetty opinnäytetyön sisältämät päätehtävät. Työn tehtäviä olivat:

1. Piirilevyn vaatimusmäärittely
2. Piirilevyn suunnittelu ja toteutus (tai tilaus)
3. Piirilevyn kalustus ja testaus
  - Komponenttien asennus
  - Mikrokontrollerin ohjelmoinnin toiminnan testaus
  - Bluetooth-tietoliikenteen toiminnan testaus
  - Akun keston testaus
  - **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**
  - Sensorin toiminnan testaus.

### 3.2 Vaatimusmäärittely

Ensimmäisenä tehtävänä laadittiin työssä tehtävän prototyypin sekä sen piirilevyn vaatimusmäärittely. Vaatimusmäärittelyn pohjalla oli uniapneanhoitolaitteen ensimmäinen prototyyppi, josta tilaajien kesken selvitettiin tarvittavat muutokset seuraavaan prototyyppiin. Päällimmäisenä ideana työssä oli että seuraava prototyyppi tulee olemaan käytettäessä täysin langaton. Tämän toteuttamiseksi piti laitteessa korvata tiedonsiirto ja laitteen yleinen virransyöttö langattomalla tekniikalla.

Vaatimusten toteuttaminen on dokumentoitu luvussa 3.1.2. Tässä kappaleessa on esitetty vaatimusmäärittely uniapneahoitolaitteen piirilevyn suunnittelulle. Laitteen tarkoituksena on vastaanottaa, käsitellä ja lähettää tietoa sensorilta Bluetooth-yhteydellä mobiililaitteeseen (älypuhelin, tabletti) langattomasti. Laitteen tulee olla akkukäyttöinen ja ladattavissa USB-kytkennällä. Lisäksi laitteen prosessorin tulee olla ohjelmoitavissa ilman piirilevytä irrotusta. Vaatimusmäärittely sisältää vaatimukset piirilevyn toiminnoille, komponenteille, komponenttien ominaisuuksille ja suorituskvyylle.

1. **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**

2. **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**

3. Mikrokontrolleri

- Piirilevyllä tulee olla mikrokontrolleri, jonka tehtävä on vastaanottaa kytkennästä saatava signaali.
- Mikrokontrollerin täytyy kyetä vastaanottamaan, käsittelemään ja lähettämään kytkennästä saatava signaali sellaisessa muodossa että se on mahdollista lähettää eteenpäin Bluetooth-yhteydellä.

4. Mikrokontrollerissa on oltava tarpeeksi liitäntöjä, jotta sitä voidaan ohjelmoida irrottamatta kontrolleria piirilevystä.

5. Bluetooth

- Piirilevyllä tulee olla paikka johtimille, jotka siirtävät lähetettävän ja vastaanotettavan datan Bluetooth-moduulilta.

6. Akku ja lataus

- Laitteen tulee saada käyttöjännite akusta.
- Akun tulee riittää 10 tunnin yhtäjaksoiseen käyttöön.
- Akun jännitteen tulee olla komponenttien vaatimalla alueella.
- Akun tulee olla yhteensopiva muiden komponenttien kanssa.
- Akkua tulee voida ladata USB-yhteydellä, jolle tulee rakentaa tarvittavat komponentit ja kytkennät.

7. **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**

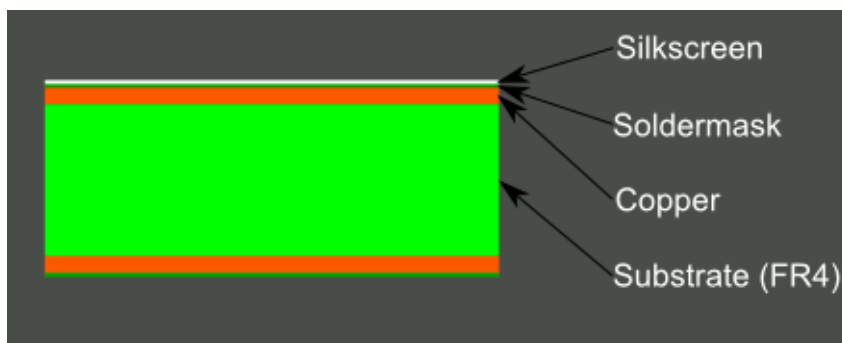
## 4 LAITESUUNNITTELU

### 4.1 Piirilevysuunnittelu

PCB- eli Printed Circuit Board -suunnittelu tarkoittaa yleiskielellä elektronisen laitteen piirilevyn tai -kortin suunnittelua. Ennen nykyaikaista piirilevysuunnittelua elektroniikan kytkennät valmistettiin työläästi juottamalla johdotukset manuaalisesti. Tämä johti epäonnistuneisiin kytkentöihin sekä oikosulkuihin. Nykyaikainen piirilevysuunnittelu syntyi, kun elektroniikka siirtyi vanhanaikaisesta tekniikasta, joka sisälsi mm. releitä ja tyhjiöputkia, silikonimateriaaleihin ja yhdistettyihin piireihin. Tämä laski piirilevyjen hintoja ja pienensi piirilevyn kokoa. Nykyään piirilevyt suunnitellaan tietokoneohjelmistolla ja valmistetaan koneellisesti jyrsimällä. (4.)

Piirilevy tarkoittaa elektronisessa laitteessa olevaa levyä, jonka tehtävänä on yhdistää eri komponentteja ja liittimiä yhteen sähköä johtavasti. Piirilevyllä voidaan siirtää sähköisiä signaaleja tai tehoa halutuille komponenteille tai liittimille piirilevyllä. Komponentit kiinnitetään piirilevyn pinnalle juottamalla. (4.)

Piirilevy koostuu monista materiaalikerroksista (kuva 3). Keskimmäinen piirilevyn kerros on yleensä lasikuitua. Lasikuitulevyn päälle kiinnitetään ohut kuparikerros käyttäen hyväksi kuumuutta ja kiinnikeainetta. Kuparikerros tulee yleensä molemmille puolen lasikuitulevyä. Kuparikerroksen päälle lisätään yleensä sähköä johtamaton kerros lakkaa tai juotoksenpysäytysmaski, joka suojaa piirilevyä oikosuluilta. (4.)



KUVA 3. Kaksipuolisen piirilevyn rakenne (4)

## 4.2 Keskeiset kytkennät, komponentit ja ohjelmistot

### EAGLE-ohjelmisto

EAGLE eli Easy Applicable Graphical Layout Editor on PCB-suunnitteluohjelmisto. PCB, Printed Circuit Board eli piirilevysuunnittelu sisältää eri osa-alueita, joihin EAGLE-ohjelmisto tarjoaa työkaluja. Piirilevysuunnittelu toteutettiin EAGLEn piirikaavio- (schematic editor) ja pohjapiirroseditoreilla (layout editor). (5.)

### Anturi

**POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (anturin toimintaperiaate)**

### Instrumentointivahvistin

Instrumentointivahvistin on elektroninen laite, jonka tehtävänä on vahvistaa kahden vahvistimelle tulevan pisteen jännite-eroa. Tätä vahvistusta kutsutaan differentiaalivahvistukseksi (7). Instrumentointivahvistin on differentiaalivahvistimen sovellus, jossa molempiin tuloihin on lisätty puskurikytkentä, joka aiheuttaa korkean tuloimpedanssin. Instrumentointivahvistin vaimentaa myös tehokkaasti häiriöitä, joten se soveltuu tarkkoihin mittauksiin. Lisäksi instrumentointivahvistimeen voidaan liittää säädettävä vastus, jonka arvoa muuttamalla voidaan helposti muuttaa vahvistusta (8).

### Bluetooth-moduuli

Bluetooth on langattoman tekniikan avoin standardi, jota käytetään tiedon lähettämiseen lyhyellä etäisyydellä. Bluetooth käyttää lyhyttä aallonpituutta ja sen toimintataajuus on 2400–2480 megahertsiä. Bluetooth-tiedonsiirto tapahtuu lyhyen kantaman radioverkon yli. Näitä ad hoc (tiettyä tarkoitusta varten luotuja) -verkkoja kutsutaan picoverkoiksi. Bluetooth-laitteista koostuvassa picoverkossa yksi laite toimii isäntätilassa (engl. master) ja yksi tai useampia orjatilassa (engl. slave). (9.)

Bluetooth-laitteiden tiedonsiirtonopeus (taulukko 1) riittää hyvin elektronisen laitteen tiedonsiirtoon ja ne ovat yhteensopivia useimpien nykyaikaisten älypuhelimien kanssa. Tiedonsiirron kantavuus käytettäessä luokan 1 laitetta (taulukko 2) on sopiva siten, että kantavuus riittää sovelluksen käyttöön, mutta se ei ole liian pitkä. Tarpeettoman pitkä kantavuus tietoliikenneyhteydessä kuluttaa liikaa tehoa, jolloin se voi aiheuttaa ongelmia akun varauksen riittävyydelle.

*TAULUKKO 1. Bluetooth-tiedonsiirtonopeudet (10;11)*

Versio	Datanopeus
Versio 1.2	1 Mbit/s
Versio 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versio 3.0 + HS	24 Mbit/s +
Versio LE	1 Mbit/s

*TAULUKKO 2. Bluetooth-luokkien signaalin kantavuus (10)*

Luokka	Suurin sallittu teho		Kantavuus (m)
	(mW)	(dBm)	
Luokka 1	100	20	n. 100
Luokka 2	2,5	4	n. 10
Luokka 3	1	0	n. 5

## Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleri on elektroninen laite, jonka tehtävänä on ohjata sulautettujen järjestelmien, esimerkiksi elektroniikkalaitteiden, älyä. Mikrokontrolleri sisältää prosessorin lisäksi muita ominaisuuksia, kuten esimerkiksi ROM-muistia, RAM-muistia, A/D- ja D/A-muuntimia, digitaalisia lähtö- ja tuloportteja, sarjaväyliä, kello-oskillaattoreita, ajastimia ja rinnakkaisväylän ohjaimineen. Mikrokontrolleri on pienikokoinen tietokone, jossa toisin kuin perinteisessä tietokoneessa kaikki ominaisuudet on rakennettu yhteen pienikokoiseen kuoreen. Aiemmin mainitut mikrokontrollerin sisältämät ominaisuudet rakennetaan tietokoneessa erillisistä komponenteista. Tämä vaatii paljon tilaa, minkä takia mikrokontrolleri soveltuu täydellisesti elektroniseen laitteeseen, joka ei vaadi paljoa laskutehoa. Tunnettuja mikrokontrollerivalmistajia ovat mm. Atmel AVR, Texas Instruments, Microchip ja ARM. (12.)

Mikrokontrollerin ohjelmoiminen vaatii ISP (in-system programming) - ohjelmointialustan, joka liitetään mikrokontrollerin portteihin ohjelman sisään ajamiseksi (12).

### **Latauspiiri**

Litium-ioni- tai polymeeriakuille tarkoitettu latauskomponentti on piirilevylle kiinnitettävä laite, jonka tehtävänä on ohjata laitteen latausta. Latauspiiri valitsee aktiivisena olevan latauskanavan joko USB-liitännästä tai tasavirta-adapterista. Latauspiiri pitää latausvirran turvallisella tasolla ja mahdollistaa turvallisen ja oikean akun latauksen automaattisesti. Piiri sisältää myös logiikkaulostulon, jolla voidaan antaa unisignaali mikrokontrollerille ja vahvistimelle, jotta virrankulutus keskeytyy latauksen ajaksi. (13, s. 1.)

### **Kytkenä**

**POISTETTU SALASSAPITOVOLVOLLISUUDEN VUOKSI (kytkennän teoria)**

## 5 PIIRILEVYN VALMISTUS

### 5.1 Komponenttien valinta

Vaatimusmäärittelyä toteutettaessa ensimmäinen vaihe oli valita tarvittavat komponentit ja niihin liittyvät kytkennät.

#### 5.1.1 Anturi ja sen kytkennät

POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuvaus anturoinnista ja sen kytkennästä, kuva)

#### 5.1.2 Mikrokontrolleri

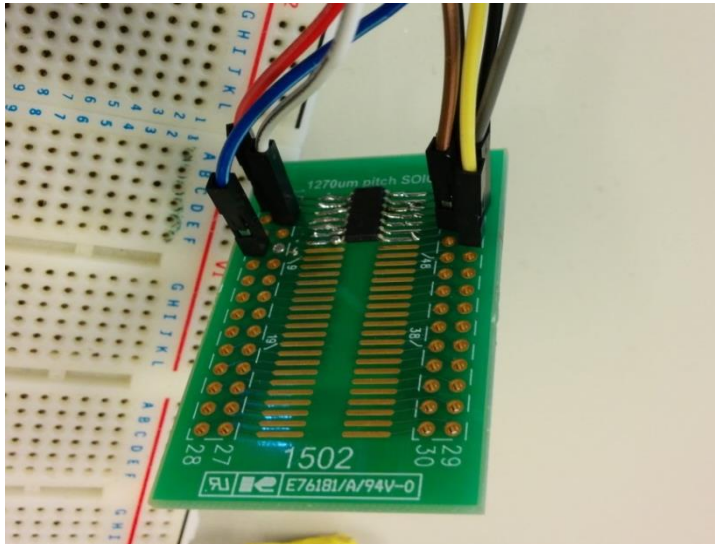
Mikrokontrolleri päätettiin tilata Atmelilta, koska tuotemerkin mikrokontrolleri oli tullut tutuksi jo ensimmäisessä prototyypissä käytetyssä Arduino Uno - kehitysalustassa. Mikrokontrollerin valinta tehtiin Atmelin internet-palvelussa, jossa lisäämällä haluttuja ominaisuuksia valinnan suodattimeksi tuotepalvelu ehdottaa kaikki ne ominaisuudet sisältävät Atmelin tuotteet. (15.)

Haluttuja ominaisuuksia olivat

- Flash-muisti vähintään 8 kB
- Kellotaajuus vähintään 16 MHz
- I/O-porttien määrä 14
- Bittimäärä vähintään 8-bit.

Näillä ominaisuuksilla etsittyä tultiin siihen tulokseen, että valitaan käytettäväksi nykyaikaista Atmel AVR ATtiny841 SSU - pintaliitosmikrokontrolleria (kuva 8). Opinnäytetyötä tehtäessä tilaajaprojekti testasi mikrokontrollerin toimintaa ja ohjelmointia harjoitusalueella. Näin tilaaja sai luotua hyödyllisen testiohjelman tulevan laitteen kytkennälle ennen piirilevyn valmistumista. Testiohjelmalla tultiin käyttämään hyväksi tämän opinnäytetyön testausvaiheessa.

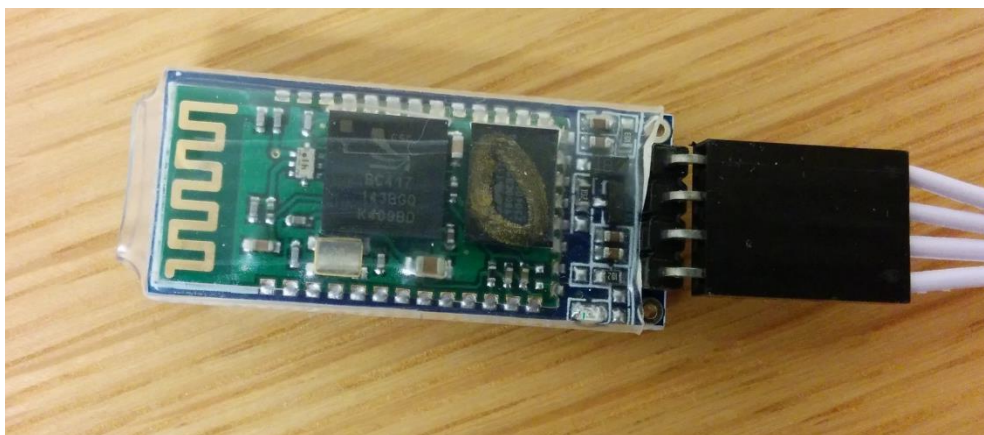




*KUVA 8. ATtiny 841 -mikrokontrolleri juotettuna testialustaan*

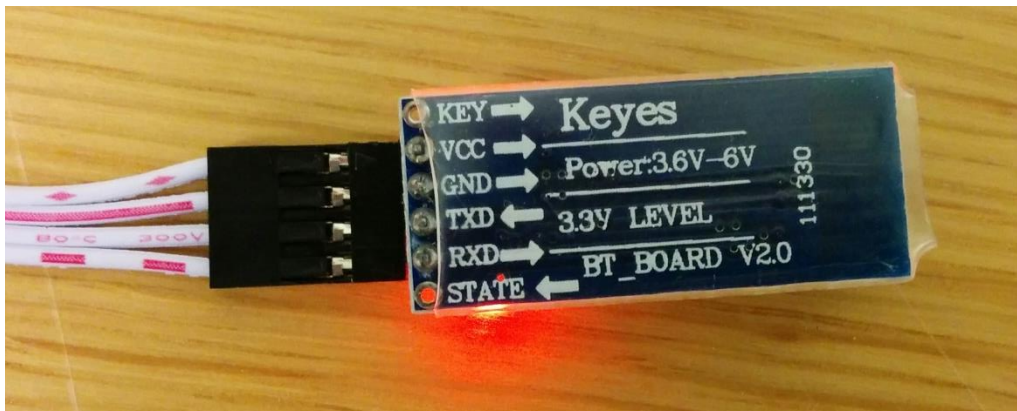
### **5.1.3 Bluetooth-moduuli**

Bluetooth-moduulina päätettiin käyttää tilaajan toiveesta Keyes HC-06 -Bluetooth-lähetinvastaanotinta (kuva 9). Moduulin tehtävänä on lähettää sensoridataa matkapuhelimelle. Uniapneavyö-projekti oli kehittänyt Bluetooth-langattomuuden ohjelmistoa opinnäytetyössä kyseessä olevaa uutta prototyyppiä varten jo ennen opinnäytetyön alkua, joten työssä ei käytetty vaihtoehtoisia Bluetooth-laitteita. Tilaajan mukaan Keyes HC-06 oli toimiva ja sopiva ratkaisu tässä opinnäytetyössä, vaikka Bluetooth 4.0 -versio olisi kooltaan ja virrankulutukseltaan parempi ratkaisu. Tämän prototyypin valmistumisen kiireellisyyden takia tilaaja päätti kuitenkin käyttää tuttua Bluetooth-moduulia.



*KUVA 9. Keyes HC-06 -Bluetooth-moduuli*

Bluetooth-moduulissa on neljä liitäntää: käyttöjännite- (VCC), maa- (GND), lähetin- (TXD) ja vastaanotinliitäntä (RXD) (kuva 10). Moduuli tullaan liittämään piirilevyyn johtimilla, jotka juotetaan kiinni niille tarkoitetuille paikoille.



KUVA 10. Bluetooth-moduulin liitännät

#### 5.1.4 Akku ja lataus

Tilaaaja toivoi laitteen latauksen tapahtuvan USB (Universal Serial Bus) -sarjaväyläarkkitehtuuria hyväksikäyttäen. Laitteeseen päätettiin lisätä mikro-USB-liitin, jonka kautta lataaminen tapahtuisi käyttäen esimerkiksi tietokoneen USB-väylää. Lataamisen toteuttaminen turvallisesti ja luotettavasti vaatii erillisen piirin, jonka tehtävänä on rajoittaa ja tarkkailla latauksen lämpötilaa ja latausnopeutta. Tällainen piiri on kaikista helpointa ja yksinkertaisinta toteuttaa käyttäen erillistä latauspiirikomponenttia. Lisäksi käytettäessä erillistä komponenttia säästetään piirilevyllä tilaa ja yksinkertaistetaan suunnitteluprosessia.

Työssä päätettiin käyttää helposti Sparkfun-elektroniikkaverkkokaupasta saatavilla olevaa Maxim MAX1555 -USB-akkulaturipiiriä. Piirin avulla voidaan ladata yksisoluista litium-ioniakkua joko vaihtovirtalähteellä tai USB-liitännällä. Komponentissa on sisäänrakennettu lämpötilarajoin, joka ei katkaise latausvirtaa lämpötilan noustessa liikaa, vaan rajoittaa virtaa siten, että lämpötila pysyy sallituissa rajoissa. Tämä toiminto pitää latausvirran optimaalisena latausajan ja turvallisuuden kannalta. (13, s. 1.)

MAX1555-latauspiiri (kuva 11) sisältää myös CHG-ulostuloportin, joka osoittaa onko lataus käynnissä. Tätä porttia hyväksikäyttäen voidaan asettaa piirilevyllä oleva instrumentointivahvistin unitilaan, jolloin virrankulutus laskee ja latausaika pienenee. CHG-portti liitetään siis piirilevyllä INA125U-instrumentointivahvistimen SLEEP-porttiin. (13, s. 2.)

### **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuva piirilevystä)**

Uniapneavyöprojektin aikana on tutkittu Arduino-pohjaisen prototyypin virrankulutusta alustavasti. Arvioitiin, että laite tulisi kuluttamaan noin 0,6 ampeerituntia yhdessä yössä. Koska todellista virrankulutusta on erittäin vaikea arvioida, tilaaja antoi ohjeeksi suosia mieluummin liian suurta kuin liian pientä akkua. Prototyypivaiheessa laitteen akunkesto on latausaikaa tärkeämpi kriteeri. Prototyypin akuksi valittiin latauspiirin kanssa yhteensopiva Unionfortunen valmistama 3,7 V 2000 mAh litiumpolymeeriakku (16). Akun 2000 mAh:n varauksen tulisi normaalissa käytössä kestää noin kolme yötä, mikä sopii hyvin langattomalle ja kannettavalle laiteratkaisulle, vaikka laitteen latausaika olisikin hieman pidempi. Laitetta käytetään vain nukkuessa, joten latausaikaa tulisi riittää vuorokauden aikana siten, että laitetta voidaan käyttää tehokkaasti joka yö.

## **5.2 Piirilevyn valmistus**

Piirilevy tilattiin Oulun ammattikorkeakoulun projektisuunnittelija Henry Hinkulalta. Piirilevystä luodut EAGLE-tiedostot lähetettiin Henrylle. EAGLE-tiedostot ovat nähtävissä liitteessä 1. Henry tarkasti tiedostot sekä käänsi ne oikeaan muotoon, jonka jälkeen hän valmisti piirilevyn (kuva 12). Piirustusten pohjalta jysitty kaksipuolinen piirilevy on myös päällystetty kirkkaalla lakalla, joka suojaa piirilevyä oikosuluilta. Piirilevyn valmistuttua voitiin aloittaa piirilevyn kalustaminen.

### **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuva piirilevystä)**

### 5.3 Piirilevyn kalustaminen

Kalustamisella tarkoitetaan valittujen komponenttien juottamista kiinni piirilevylle. Komponentit juotettiin piirilevylle Oulun ammattikorkeakoulun tiloissa. Komponentit kiinnitettiin niiden ennalta määritellyille paikoille. Piirilevyn suunnitteluvaiheessa tehty pohjapiirros sisältää alustat komponenteille. Tässä vaiheessa ainoastaan tarkistettiin, että komponentti asetettiin alustalle oikein päin ja oikeaan paikkaan ennen sen kiinni juottamista (kuva 13).

**POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuva piirilevystä)**

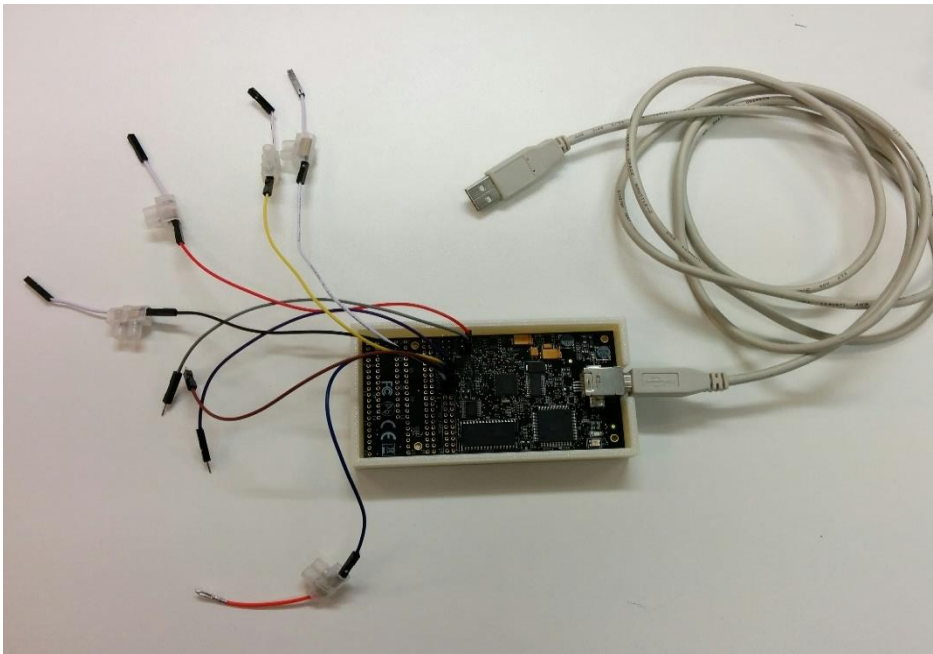
## 6 TESTAUS

### 6.1 Mikrokontrollerin ohjelmointi

Mikrokontrollerin ohjelmointi tapahtui AVR-tuoteperheen Dragon-ISP-ohjelmointialustalla (kuva 14), joka oli saatu lainaksi Oulun ammattikorkeakoululta. Mikrokontrolleriin ohjelmoitiin koodi, jonka projektiryhmä oli laatinut ja testannut aiemmin testialustalla. Mikrokontrollerille ohjelmoitu koodi on nähtävissä liitteessä 2. Ohjelmointi tapahtui käyttäen hyväksi piirilevyyn lisättyjä liittimiä, jotka ovat yhteydessä mikrokontrollerin ohjelmointiin tarvittaviin pinneihin. Ohjelmointiohjelmistona käytettiin Atmel Studio 7:ää.

Tarvittavat pinnit:

- VCC, käyttöjännite
- GND, maa
- reset, uudelleenasetus
- MOSI, Master Output, Slave Input
- MISO, Master Input, Slave Output
- SCK, Serial Clock, sarjakello

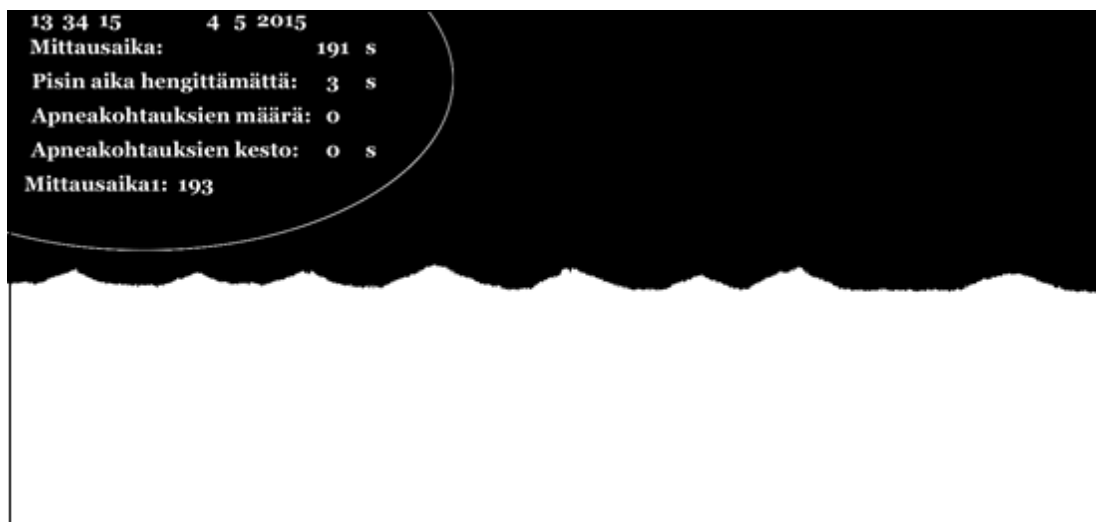


KUVA 14. AVR Dragon -ohjelmointialusta

Mikrokontrollerin ohjelmointi onnistui vaivatta muilta osin, mutta piirilevyä suunniteltaessa tapahtuneen virheen vuoksi mikrokontrollerin SCK-pinni unohdettiin, ja sille ei lisätty piirilevylle liittintä. Tämän vuoksi ohjelmoitaessa mikrokontrolleria piirilevyllä SCK-johdin liitettiin mikrokontrollerin jalkaan manuaalisesti johtimella. Muut ohjelmointijohtimet kiinnitettiin niille tarkoitettuihin liittimiin normaalisti. Ohjelmoimisen jälkeen ohjelma tallentuu mikrokontrollerin sisäiseen muistiin, jonka jälkeen se toimii itsenäisesti ilman ohjelmointialustaa.

## 6.2 Laitteen testaus

Mikrokontrollerin ohjelmoimisen jälkeen kytkentää alettiin testata käytännössä. Testaaminen tapahtui niin, että kaikki piirilevyyn liitettävät lisälaitteet (anturit, Bluetooth-moduuli) liitettiin piirilevyyn kiinni. Tämän jälkeen laitteen akku kytkettiin kiinni (kuva 16), jolloin kaikkien ominaisuuksien tulisi toimia. Laitteiden kiinnittämiseen käytettiin normaaleja sokeripalaliittimiä, mikä helpotti vianetsintää ja nopeutti laitteiden irrottamista testivaiheessa. Sokeripalaliitäntä on väliaikainen ratkaisu. Kun laite on testattu toimivaksi, johtimille hankitaan joko pienemmät liittimet tilaajan toimesta tai johtimet juotetaan suoraan lisälaitteeseen. Bluetooth-yhteyttä seurattiin tietokoneelle projektiryhmän laatiman ohjelmiston kautta. Ohjelmisto esittää vahvistimelta saapuvaa signaalia graafisesti ajan funktiona (kuva 15).



KUVA 15. Testiohjelman näkymä

## POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kuva laitteesta)

Aluksi liittämisen jälkeen anturista ei saatu ulos haluttua signaalia Bluetoothin kautta, vaan ulostulosignaali pysyi lähellä nollaa voltia. Vika paikannettiin piirilevyltä käyttäen hyväksi yleismittaria. Huomattiin, että instrumentointivahvistin ei vahvistanut kytkennältä tulevaa signaalia, vaan vahvistimen ulostulojännite pysyi vain lähellä nollaa voltia. Vika korjattiin korvaamalla vanha ja viallinen instrumentointivahvistin ja juottamalla piirilevylle toimiva. Uuden vahvistimen kanssa piirilevy toimi halutulla tavalla ja Bluetooth-yhteydellä saatiin dataa anturilta.

Kytkenän säädettävät vastukset sekä instrumentointivahvistimen vahvistusvastus (gain) testattiin toimiviksi. Kytkenän ja vahvistuksen hienosäätämistä halutuiksi tulevalle uniapneahoitolaitteelle ei voitu vielä tässä vaiheessa tehdä, koska laitteen mekaniikkaa, koteloa tai vyötä ei ollut vielä valmistettu. Kaikki edellä mainitut laitteen osat vaikuttavat siihen, miten kytkentä ja vahvistus tulee säätää.

USB-latauksen testaus osoitti, että akku latautuu halutusti ja latauspiiri toimii oikein. Latauspiiri antaa akulle 4,2 V jännitettä silloin, kun USB-johto on kytketty jännitelähteeseen ja piirilevyn USB-liittimeen. Akku ei lämpene liikaa ja USB-liitin toimii sekä antaa 5 V jännitettä normaalisti.

Akunkestoa testattiin käyttämällä laitetta. Testin aikana Bluetooth-yhteys lähetti dataa tietokoneen testiohjelmistoon. Akun varaus riitti kahdeksan tunnin testiin, ja täytti vaatimusmäärittelyn kriteerit. Akun varaus riitti aktiiviseen käyttöön noin 19 tunnin ajan, jonka jälkeen akun jännite laski niin, että Bluetooth-moduuli ei saanut enää tarvittavaa käyttöjännitettä ja yhteys katkeili. Voidaan siis sanoa, että akun kapasiteetti on sopiva tähän käyttötarkoitukseen. Kun laitetta käytetään 9,5 tuntia yössä, laite toimisi kaksi yötä.

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön päätarkoituksena oli suunnitella, valmistaa ja kalustaa toimiva piirilevy uniapneanhoitolaitteelle. Lopputuloksena oli toimiva laitteen piirilevy, joka täytti työssä asetetut vaatimukset ja toimi halutulla tavalla testatessa. Puutteena voidaan mainita yksi puuttuva ohjelmointiliitin, joka inhimillisen erehdyksen takia jäi lisäämättä piirustuksiin suunnitteluvaiheessa.

Seuraavaan prototyyppiin ja lopputuotteeseen tulevia muutoksia tässä opinnäytetyössä tehtyyn prototyyppiin tulee olemaan edelleen kooltaan ja virrankulutukseltaan pienempi Bluetooth LE -moduuli. Tilaajan ideana on ollut käyttää Bluetooth LE:tä, mutta tähän prototyyppiin sitä ei vielä resurssien takia lisätty. Seuraava laitteen versio tulisi olla myös kehittyneempi latauksen ja virranhallinnan osalta siten, että laitteen lataus onnistuu, oli laite päällä tai ei. Tässä opinnäytetyössä valmistetun prototyypin toteutuksessa laitteen tulee ladatessa olla päällä, mutta instrumentointivahvistin on kytkettynä lepotilaan. Tällainen latausratkaisu ei ole välttämättä kaikista järkevin.

Laitteen seuraavaan versioon tulisi lisätä yksi tai useampi merkkivalo, jotka osoittaisivat, onko laite päällä sekä mittaako se oikein. Tämän voisi toteuttaa käyttäen hyväksi mikrokontrollerin käyttämättömiä pinnejä. Tällöin käyttäjä saisi palautetta laitteen toiminnasta.

Uniapneanhoitolaitteen ensimmäiseen prototyyppiin verrattuna opinnäytetyössä laitteeseen lisättiin paljon tärkeitä ominaisuuksia siitä huolimatta, että toinenkin prototyyppi on edelleenkin laitteena melko alkeellinen. Langattomuuden ja akkukäyttöisyyden aikaansaaminen edistää tuotekehitystyötä ja laitteen testauksen helppoutta. Prototyyppi saatiin myös kooltaan kutistettua noin älypuhelimien kokoiseksi. Tämä lisää laitteen käyttömukavuutta. Opinnäytetyön resurssit ja aiheen haastavuus huomioon ottaen saatiin kuitenkin paljon aikaiseksi.

Ongelmana työtä tehdessä oli aikataulussa pysyminen. Opinnäytetyön oli aloitettaessa tarkoitus valmistua joulukuussa 2015, mutta työ osoittautui haastavammaksi, kuin oli osattu odottaa. Työn viivästyminen aiheutui



suurimmaksi osaksi siitä, että kokemus piirilevysuunnittelusta oli työtä aloitettaessa olematon. Tästä johtuen kaikki käytännön asiat piirilevyn valmistuksesta peruselektroniikkaa lukuun ottamatta piti opiskella itse.

Käytettäessä EAGLE-ohjelmistoa Oulun ammattikorkeakoululla oli hyvin vähäiset resurssit antaa ohjeistusta piirustusten oikeellisuudesta ennen piirilevyn valmistusta. Yleensä opinnäytetöiden ohjeistus tulee tilaajana toimivalta yritykseltä, kun taas tässä tapauksessa tilaajana toimi vasta valmistuneista opiskelukumppaneista koostuva projektiryhmä. Siten ei tilaajallakaan ollut osaamista aiheesta.

Aikataulusta viivästymiseen vaikutti myös väärän kokoisten vastusten tilaaminen sekä testivaiheessa rikkinäinen instrumentointivahvistin, joka saatiin vaihdettua vasta tammikuussa. Uusien komponenttien tilaaminen ja yhteyshenkilön tavoittaminen vuodenvaihteen loma-aikaan aiheutti työn kulussa ongelmia.

Aikatauluongelmat olisi voitu ehkäistä tutustumalla paremmin Oulun ammattikorkeakoulun toimintatapoihin piirilevysuunnittelussa ja prototyyppivalmistuksessa. Epätietoisuus siitä, kuka voisi auttaa, jos ongelmia ilmaantuu, sekä kauanko komponenttien tilaaminen kestää viivästytti työtä. Lisäksi ei olisi saatu luottaa vain yhteen kappaleeseen komponentteja, vaan olisi pitänyt varautua rikkinäisiin komponentteihin. Myös työn tekijän oma-aloitteisuuden yhteydenpidossa työn ohjaajaan sekä muihin yhteyshenkilöihin olisi pitänyt olla parempaa ja aktiivisempaa.

Opinnäytetyö oli haastava ja työn valmistuminen vaati paljon uuden oppimista. EAGLE-ohjelmisto, piirilevysuunnittelu, komponenttien toiminta ja pintaliitoskomponenttien juottaminen olivat kaikki töitä, jotka vaativat suurimman osan ajasta työtä tehtäessä. Piirilevysuunnittelu itsessään tuli tutuksi ja on erittäin arvokas taito. Komponenttien toiminnan hallitseminen ja pintaliitoskomponenttien yleiset käytänteet sekä termistö, kuten esimerkiksi komponenttien kotelojen koot ja niiden tunnuksset, olivat asioita, joita ei voi tietää, ennen kuin niiden kanssa työskentelee käytännössä.

Asetetut tehtävät suoritettiin suurimmaksi osaksi onnistuneesti. Vaikka aikataulussa ei pysytty, työ kuitenkin saatettiin loppuun asti, ja haluttuun lopputulokseen päästiin. Piirilevyä tullaan käyttämään jatkossa uniapneanhoitolaitteen toisessa prototyypissä ja se tulee auttamaan huomattavasti tilaajaprojektin tuotekehitystyötä ja jatkotutkimuksia.

## LÄHTEET

1. Brander, Pirkko – Halme, Maija – Kaarteenaho, Riitta – Kinnula, Vuokko (toim.) 2013. Keuhkosairaudet. Diagnostiikka ja hoito. Helsinki: Duodecim.
2. Saarelma, Osmo 2015. Uniapnea, unenaikaiset hengityskatkot. Duodecim. Saatavissa: [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00712](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00712). Hakupäivä 15.11.2015.
3. Uniapnea (obstruktiivinen uniapnea aikuisilla). 2010. Duodecim. Saatavissa: <http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suosituksset/suositus?id=hoi50088>. Hakupäivä 2.11.2015.
4. PCB Basics. Sparkfun. Saatavissa: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pcb-basics>. Hakupäivä 11.11.2015.
5. What is EAGLE. 2011. CadSoft. Saatavissa: <http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/about-eagle/>. Hakupäivä 2.11.2015.
6. **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**
7. Honkanen H. Instrumentointivahvistin. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/VAHV\\_INSTRUMENTOINTIVAHVISTIN.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/VAHV_INSTRUMENTOINTIVAHVISTIN.pdf). Hakupäivä 6.11.2015.
8. Operaatiovahvistimen kytkennät. 2015. Wikipedia. Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Operaatiovahvistimen\\_kytken%C3%A4t](https://fi.wikipedia.org/wiki/Operaatiovahvistimen_kytken%C3%A4t). Hakupäivä 6.11.2015.
9. Bluetooth Technology Basics. 2015. Bluetooth Special Interest Group. Saatavissa: <http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>. Hakupäivä 7.11.2015.

10. Bluetooth. 2015. Absoluteastronomy.com. Saatavissa:  
<http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bluetooth>. Hakupäivä 7.11.2015.
11. Bluetooth low energy. 2016. Wikipedia. Saatavissa:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_low\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy). Hakupäivä 27.01.2016.
12. Honkanen H. Mikrokontrollerit. Saatavissa:  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/TVMonitor\\_MIKROKONTROLLERIT.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/TVMonitor_MIKROKONTROLLERIT.pdf). Hakupäivä 6.11.2015.
13. SOT23 Dual-Input USB/AC Adapter 1-Cell Li+ Battery Chargers. 2003. Maxim. Saatavissa:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/MAX1551-MAX1555-1.pdf>. Hakupäivä 2.11.2015.
14. **POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI**
15. Microcontrollers (MCUs) Selector. Atmel. Saatavissa:  
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=parameters>. Hakupäivä 15.10.2015.
16. Polymer Lithium Ion Battery – 2000mAh. Sparkfun. Saatavissa:  
<https://www.sparkfun.com/products/8483>. Hakupäivä 20.10.2015

POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (kytkentäkaavio)

POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (piirilevyn  
pohjapiirustus)

POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (mikrokontrollerin koodi)

POISTETTU SALASSAPITOVELVOLLISUUDEN VUOKSI (mikrokontrollerin  
koodi)